

SALOME-MECAを使用した RC構造物の弾塑性解析

—終局耐力と弾塑性有限要素法解析との比較—

森村設計 信高未咲

共同研究者 岐阜工業高等専門学校
柴田良一 教授

研究背景

2011年に起きた東北地方太平洋沖地震により多くの建築物への被害がみられた
RC構造の公共建築物で倒壊まではいかないものの大きな被害を負った報告もある
これら公共建築物は災害時においても機能することが求められている
今後発生が懸念されている大地震を控え、RC構造建築物の安全性の確保が求められている

より高い安全性を有する建築物とするためには、それ自身の耐力や、内部に発生する応力等の細かい分析が必要となる

耐力を調べる方法

実験 → 実規模での再現は容易でない



コンピュータによりシミュレーションを行うCAEシステムを使用

使用ソフト

Salome-Meca

フランス大手電力会社eDFが開発したプリポスト「SALOME」と構造解析ソルバー「Code_Aster」が統合されたオープンソースCAE

研究目的

オープンソースCAEを用いてRC構造物に対する有用性を検討するとともに、その挙動について分析する

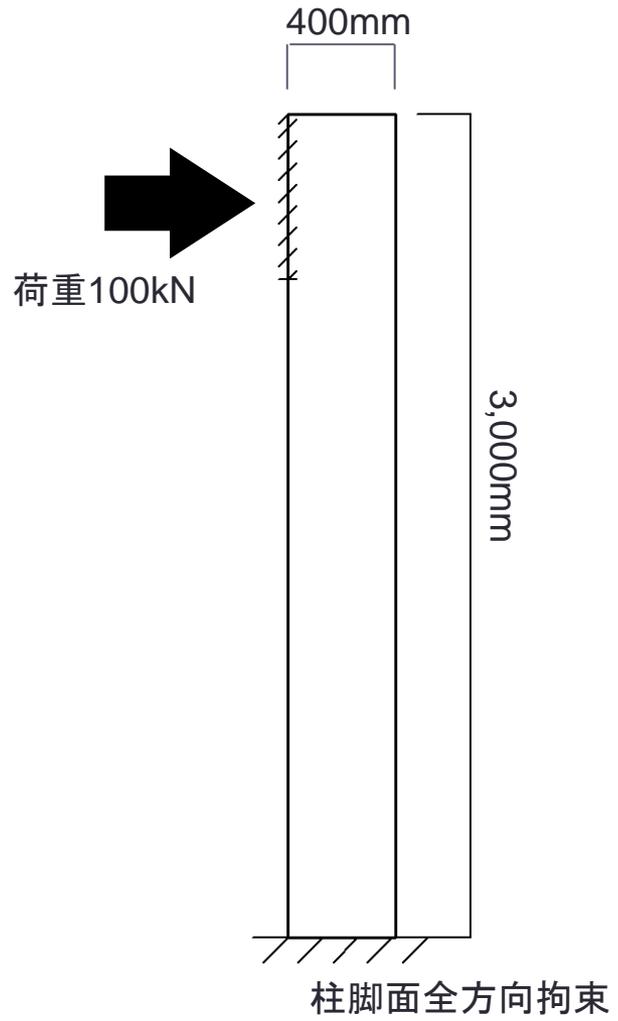
① コンクリート柱のひび割れ解析

→ オープンソースCAEによるひび割れを考慮した解析が可能であるか確認する

② RC構造物の挙動解析

→ オープンソースCAEによる解析の有用性と構造物内部の挙動について分析する

ひび割れ解析 - 解析概要



荷重条件

- ・ 柱頭部にY軸方向に100kNの荷重

拘束条件

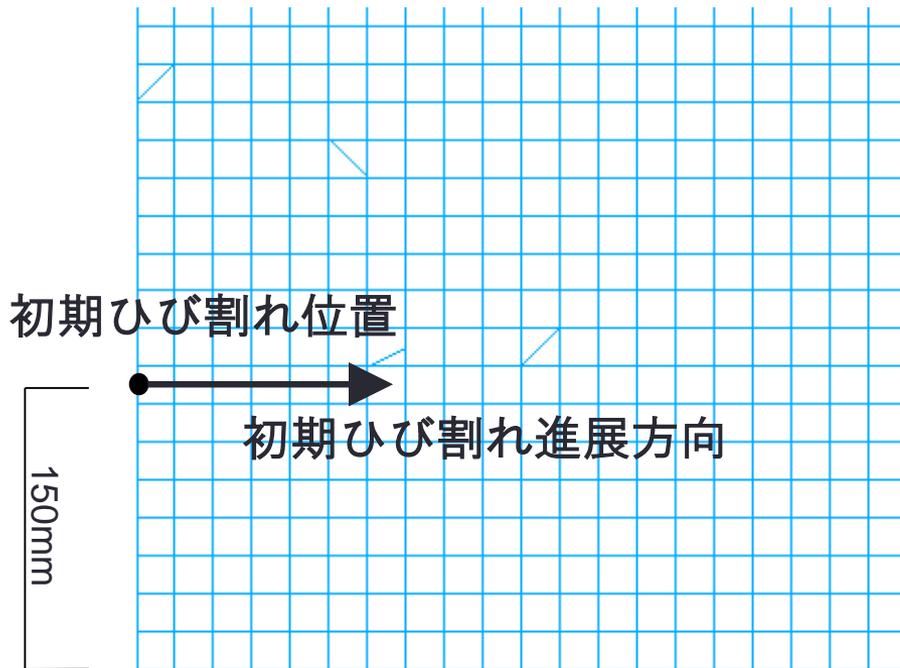
- ・ 柱脚部の面を全方向拘束

材料設定

- ・ コンクリート

種類	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比 —	引張強度 N/mm ²	圧縮強度 N/mm ²
Fc21	2.05×10^4	0.2	2.1	21

ひび割れ解析 - モデル化とひび割れ設定



メッシュ情報

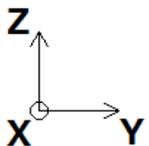
- ・ 六面体要素
- ・ メッシュ長さ 一辺20mm
- ・ 要素数 60000 節点数 66591

初期ひび割れ位置

- ・ 柱脚部から高さ150mmの位置

初期ひび割れ進展方向

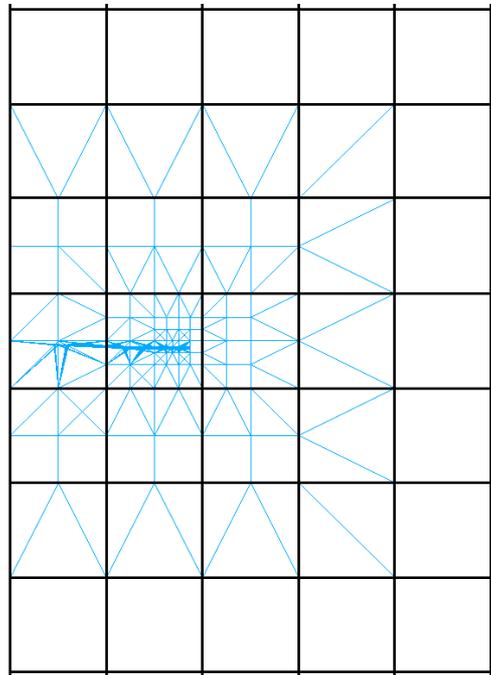
- ・ Y軸方向



ひび割れ解析 - メッシュ再構築

ひび割れ再現方法

- ① 初期ひび割れ位置のメッシュを細かいメッシュで再構築
- ② 生じる応力度が最も高い節点を次のひび割れ先端として設定
- ③ ひび割れ先端のメッシュを細かいメッシュで再構築
- ④ 以降②と③の繰り返し

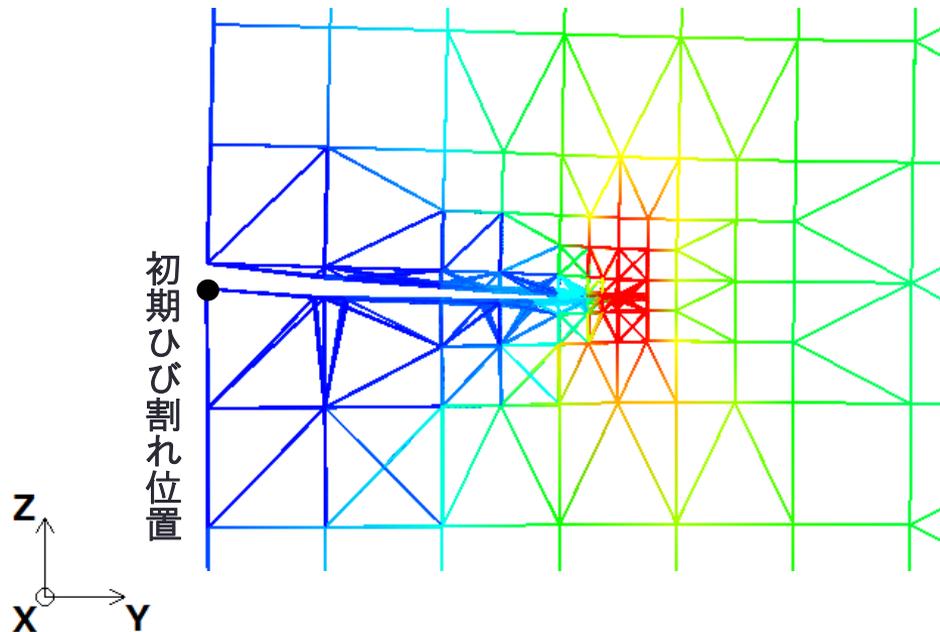


初期メッシュ : 黒色
再構築メッシュ : 青色

ひび割れ解析での
メッシュ再構築後のメッシュ情報

要素数 約12万
節点数 約16万

ひび割れ解析 - 解析結果

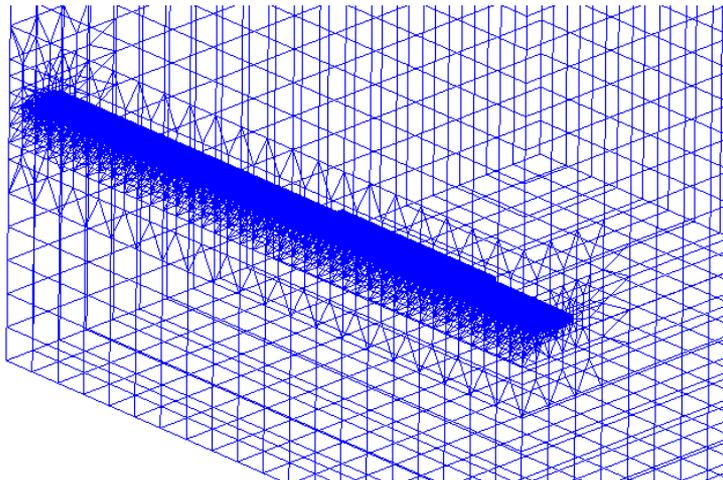


変形と応力度分布図

- ・ 初期ひび割れ位置からY軸方向に向かってひび割れ進展が見られた
- ・ ひび割れ深さ先端部分に近い程高い応力度が見られた

ひび割れ設定なしとの比較

- ・ 最大変位 : ほぼ変化なし
- ・ 最大応力度 : 約10倍
- ・ 計算時間 : 約37倍



解析結果比較の表

	ひび割れ設定	最大変位 mm	最大応力度 N/mm ²	計算時間 s
A	あり	17.9	371.28	7210
B	なし	17.4	31.04	193

ひび割れ解析 - まとめ

単純な形状でのひび割れの再現は可能である

目指している架構形状でのひび割れ再現の問題点

- ① 複雑なモデルの場合、初期ひび割れ位置や初期ひび割れ進展方向の特定が困難である
- ② ひび割れが複数個所となり、要素数や節点数の増加により解析に膨大なメモリと時間が必要となる
- ③ 鉄筋とコンクリートの付着の考慮



- ① 初期ひび割れ位置や初期ひび割れ進展方向が明確に特定できる
- ② 十分な解析環境が整っている
- ③ 鉄筋とコンクリートの付着の正確な再現

現時点での詳細なひび割れの再現は現実的でない

RC構造物の検討 - 解析内容

① 荷重制御解析

目的：二層一スパンRC構造物での反力算出方法の妥当性を検討する

内容：各柱脚部で反力を算出し、作用させた荷重と比較する

② 変位制御解析

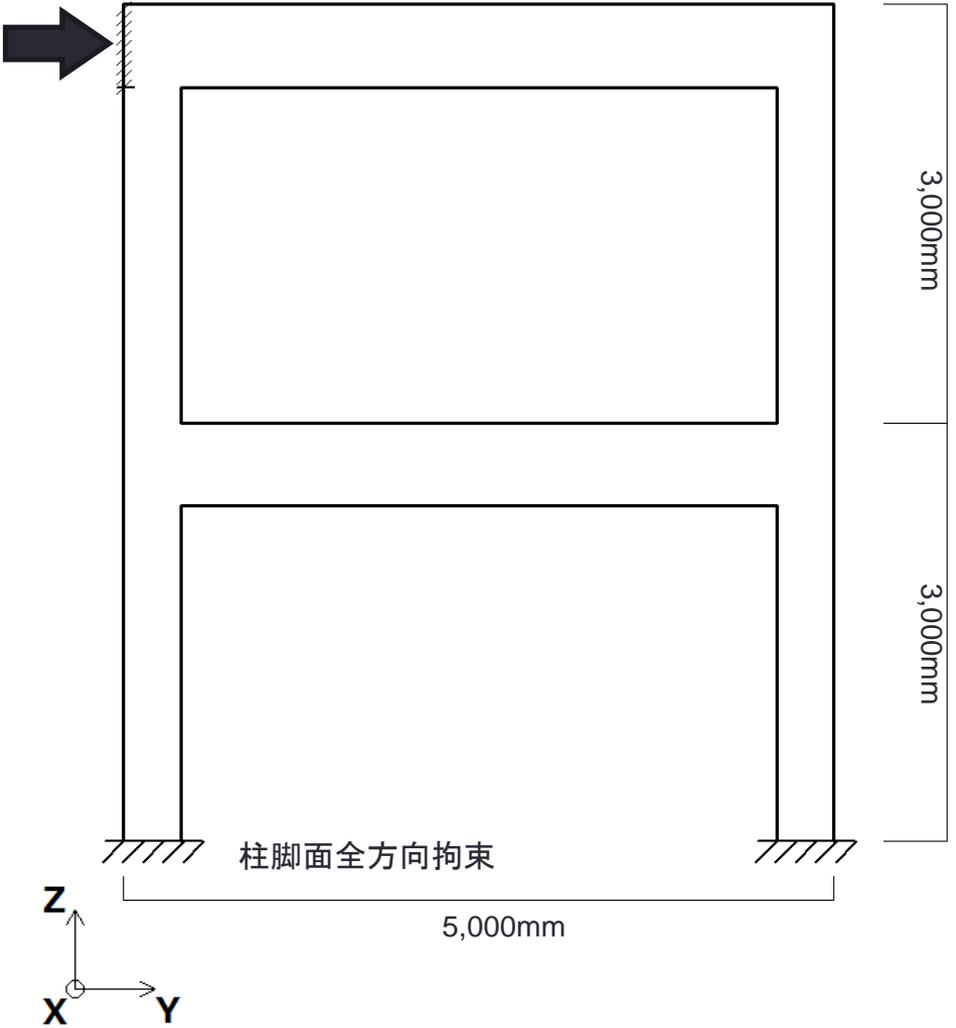
目的：二層一スパンRC構造物でのオープンソースCAEの有用性の確認とRC構造物内部の応力度分布の挙動の分析を行う

内容：各柱脚部から算出した反力から最大荷重を求め、事前に算出した終局耐力との数値的比較を行う

RC構造断面の応力度分布図を出力し、その挙動について分析する

RC構造物の検討 - 解析条件

- ① 荷重制御解析
- ② 変位制御解析



荷重条件

- ① 2階柱頭部にY軸方向に250kNの荷重
- ② 2階柱頭部にY軸方向に20mmの強制変位

拘束条件

- ①・② 1階柱脚部四ヶ所に対して面を全方向拘束

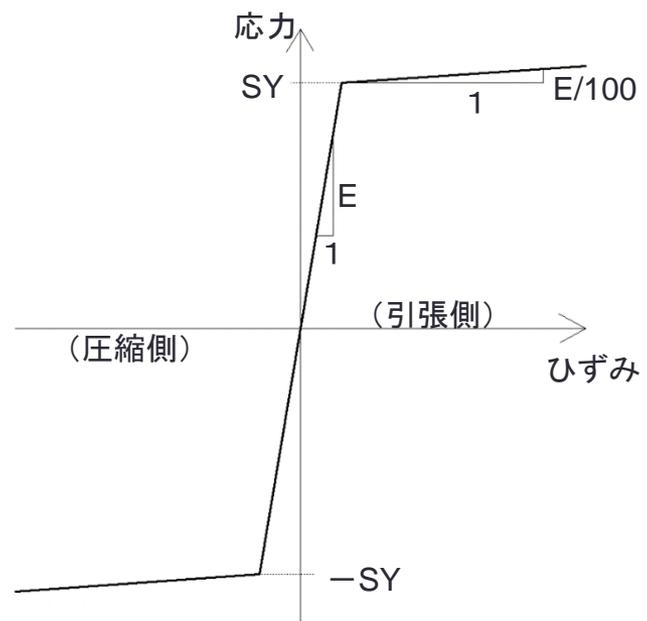
断面寸法

梁	断面寸法	400×600 mm
	長さ	5000 mm
	かぶり厚	50 mm
	主筋	4-D22
	あばら筋	D13@300
柱	断面寸法	400×400 mm
	長さ	3000 mm
	かぶり厚	50 mm
	主筋	4-D22
	帯筋	D13@200

RC構造物の検討 - 材料性質のモデル化

鉄筋

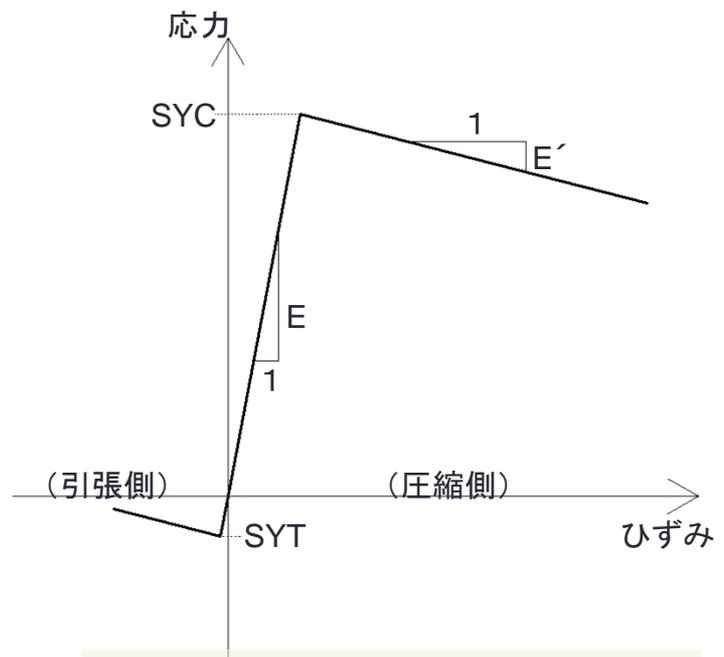
種類	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比 -	降伏強度 N/mm ²
SD295	2.05 × 10 ⁵	0.3	295
SD345			345



E : 2.05 × 10⁵ N/mm²
 SY : SD295 295 N/mm²
 : SD345 345 N/mm²

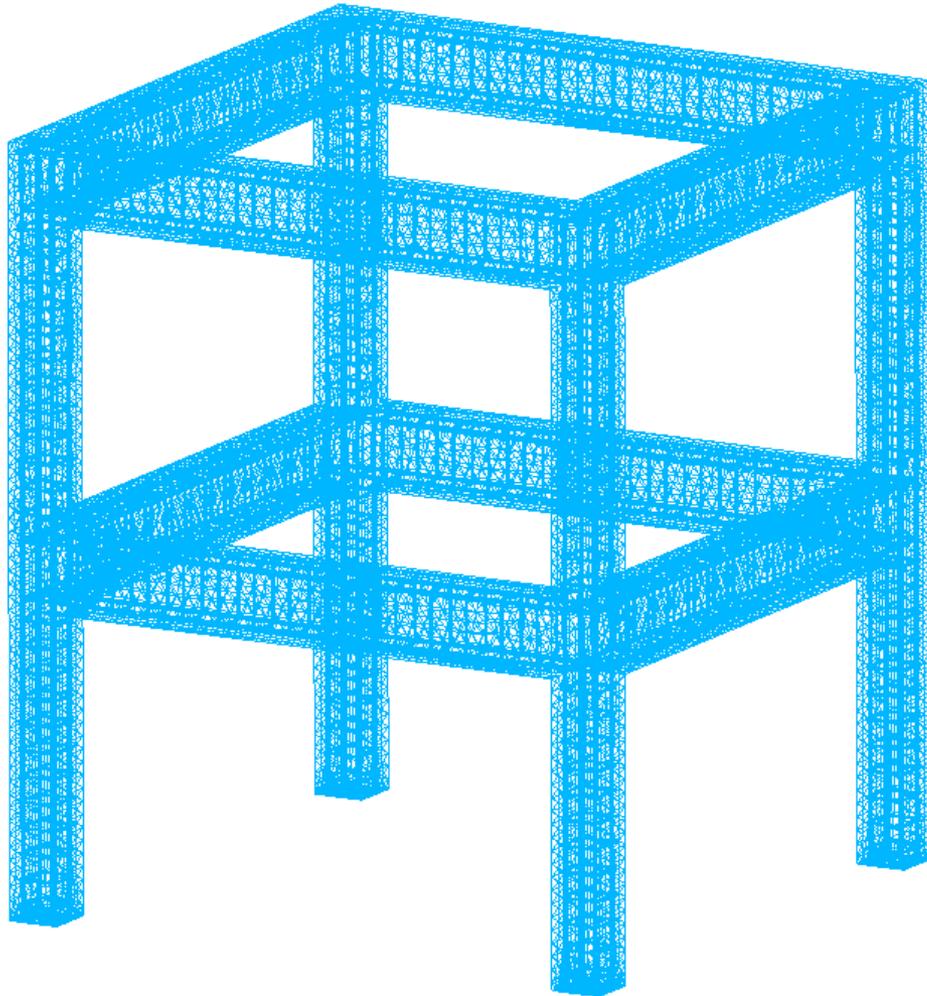
コンクリート

種類	ヤング係数 N/mm ²	ポアソン比 -	引張強度 N/mm ²	圧縮強度 N/mm ²
Fc21	2.05 × 10 ⁴	0.2	2.1	21



E : 2.1 × 10⁴ N/mm²
 E' : -1.0 × 10³ N/mm²
 SYC : 21 N/mm²
 SYT : 2.1 N/mm²

RC構造物の検討 - モデル化

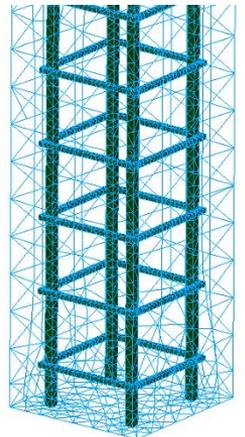
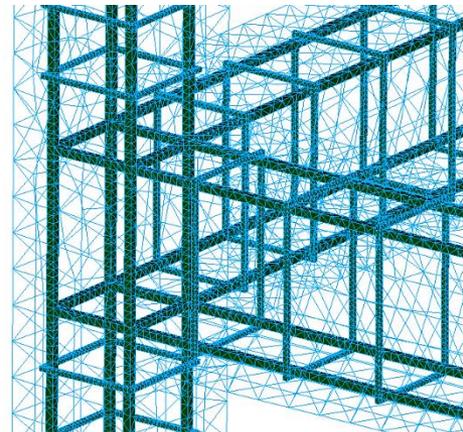


メッシュ情報

- ・ 四面体二次要素
- ・ メッシュ長さ
 - 主筋 22mm
 - 補強筋 13mm
 - コンクリート 50mm
- ・ 要素数 約80万 節点数 約110万

モデル化

- ・ 鉄筋断面は正方形
- ・ 梁柱の主筋を一体化
- ・ コンクリートと鉄筋は完全に定着
- ・ 基礎との定着の再現により、柱脚主筋は末端まで



RC構造物の検討 - 終局耐力の算出1

梁の終局時節点モーメント

$$M_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

$$Q = \frac{\text{梁上端の}M_u + \text{梁下端の}M_u}{l_o}$$

$$M'_u = M_u + Q \cdot \Delta l$$

M_u	: 降伏モーメント
Q	: 降伏時のせん断力
M'_u	: 終局時節点モーメント
a_t	: 鉄筋の断面積
σ_y	: 鉄筋の降伏応力度
d	: 有効梁せい
l_o	: 内法スパン
Δl	: 節点から柱面までの距離
D	: 柱の幅
N	: 柱の軸力
F_c	: 柱の圧縮強度
h_o	: 柱の内法スパン
Δh	: 節点から梁面までの距離

柱の終局時節点モーメント

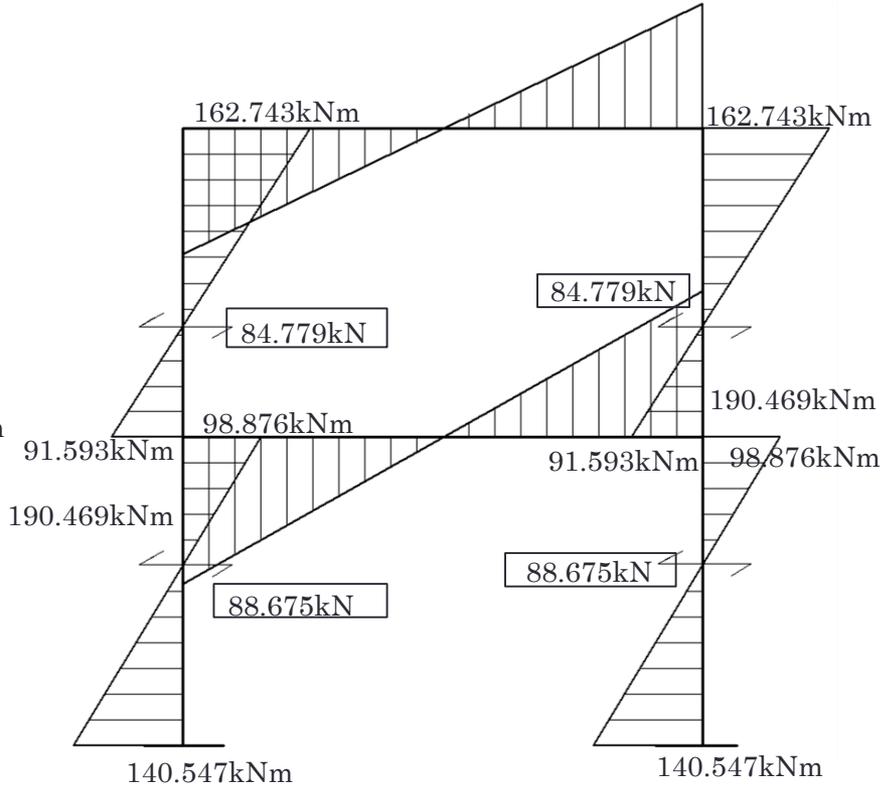
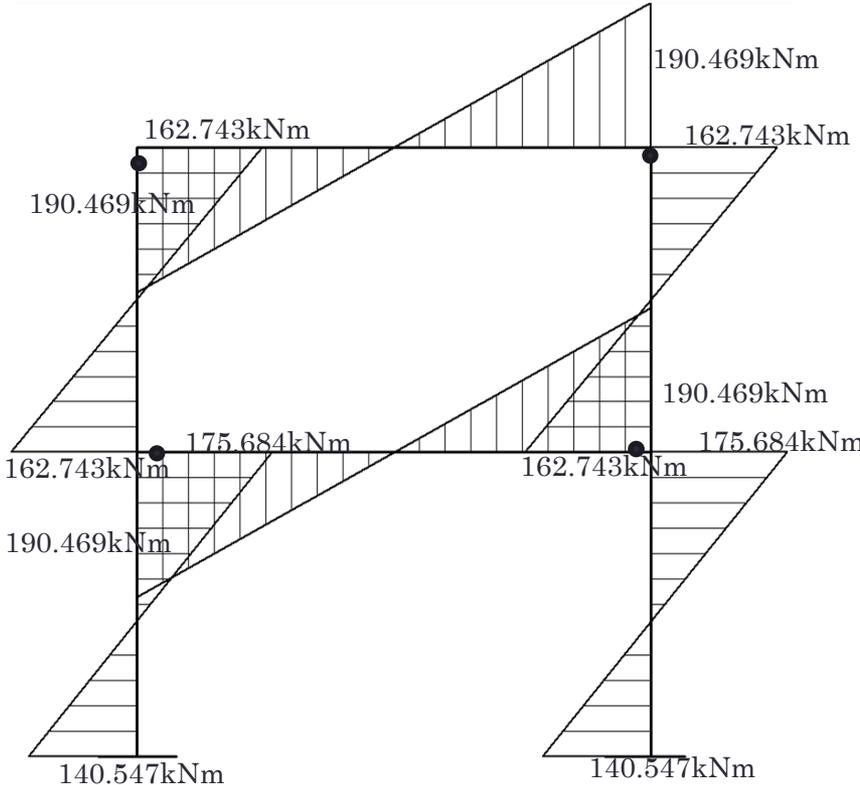
$$M_u = 0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 \cdot N \cdot D \cdot \left(1 - \frac{N}{b \cdot D \cdot F_c}\right)$$

$$Q = \frac{\text{柱頭の}M_u + \text{柱脚の}M_u}{h_o}$$

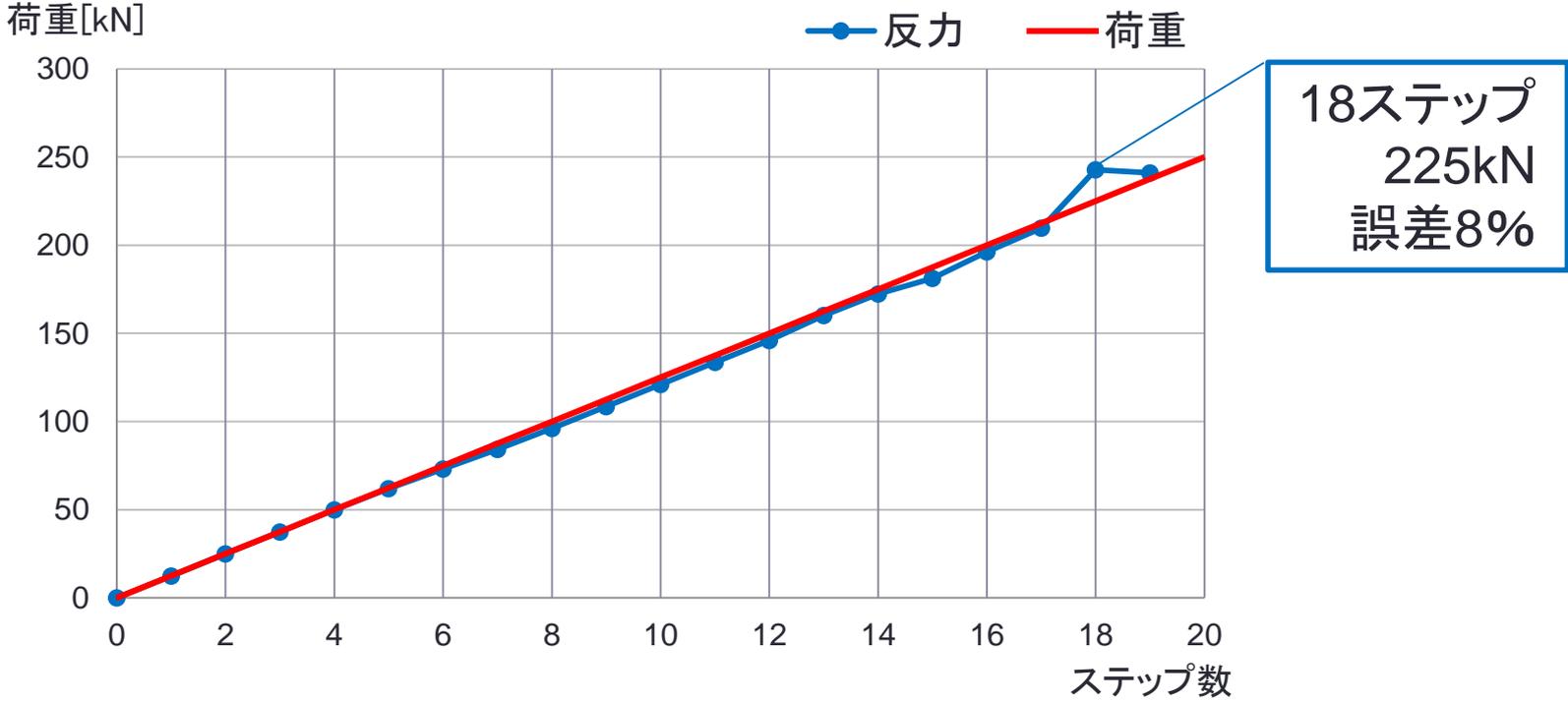
$$M'_u = M_u + Q \cdot \Delta h$$

RC構造物の検討 - 終局耐力の算出2

- ① 梁の終局時節点モーメントを算出 → 1階, 2階共に 190.468kNm
- ② 柱の終局時節点モーメントを算出 → 1階: 柱頭 154.962kNm
柱脚 103.308kNm
2階: 柱頭柱脚共に 162.473kNm
- ③ 骨組の終局水平耐力を算出 → 1階: 354.7kN 2階: 339.12kN



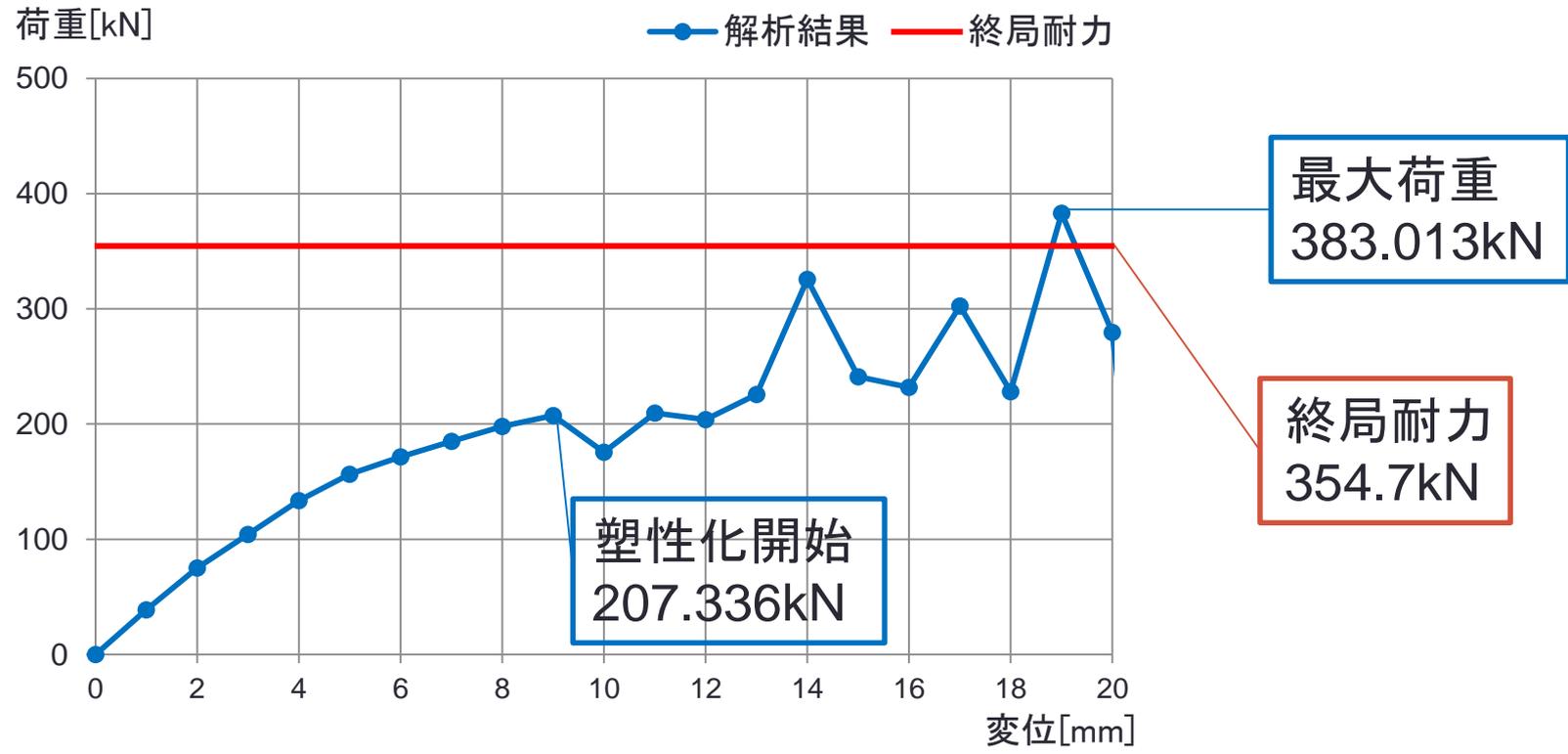
RC構造物の検討 - 荷重制御解析結果



17ステップ (212.5kN)以前 : ほぼ線形 誤差0~4%弱
18ステップ (225.0kN) : 誤差8%弱 → 部材の降伏による影響

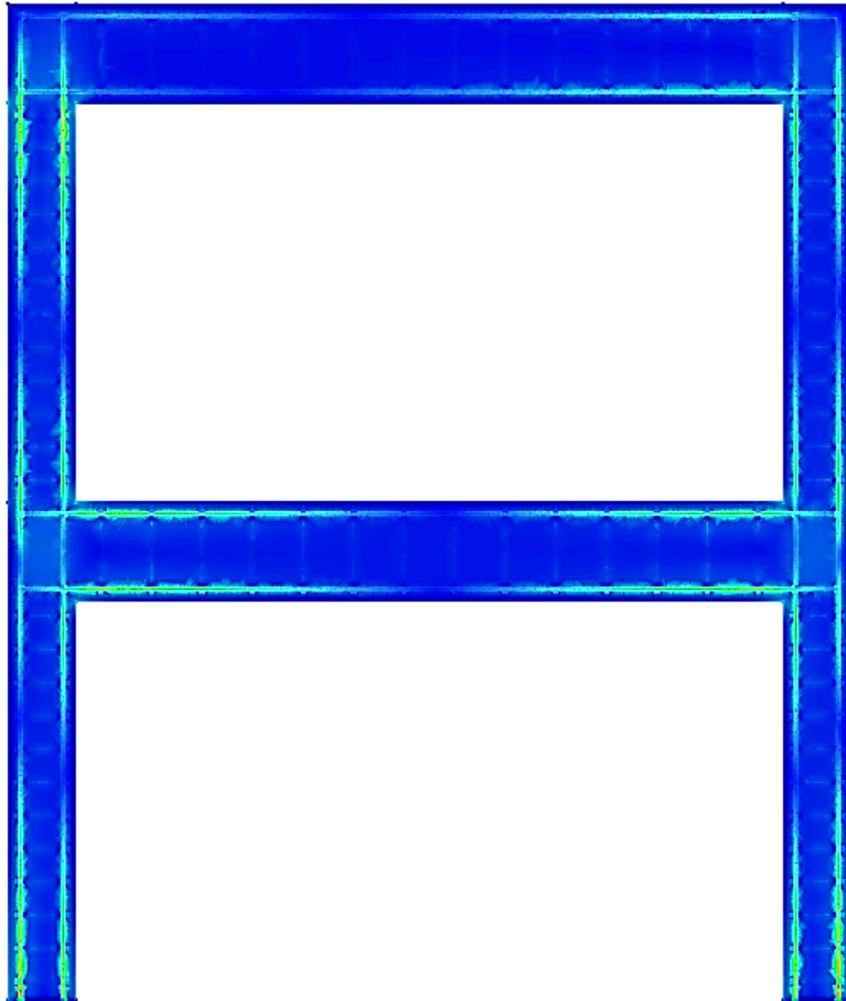
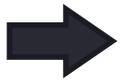
反力算出方法の妥当性を確認 → この方法を用いて変位制御解析を行う

RC構造物の検討 - 変位制御解析結果

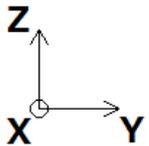


変位 5mm以内 : 線形の挙動
変位10mm : 荷重の減少 → 解析モデルの塑性化開始
変位10mm以降 : 荷重の増減 → 各部材の塑性化

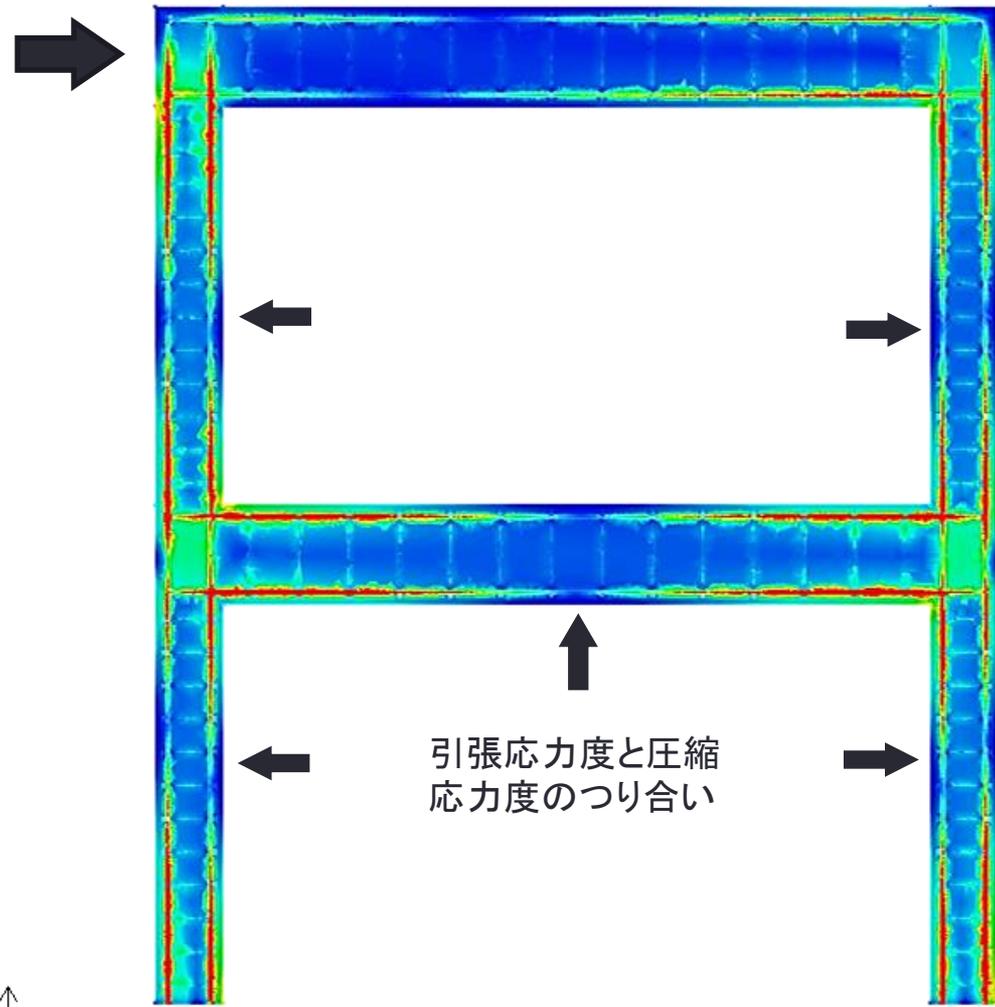
RC構造物の検討 - 変位制御解析結果(変位1mm)



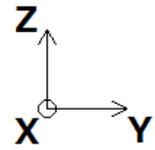
- ① 柱脚部や梁柱接合部付近の主筋
- ② 主筋付近のコンクリート



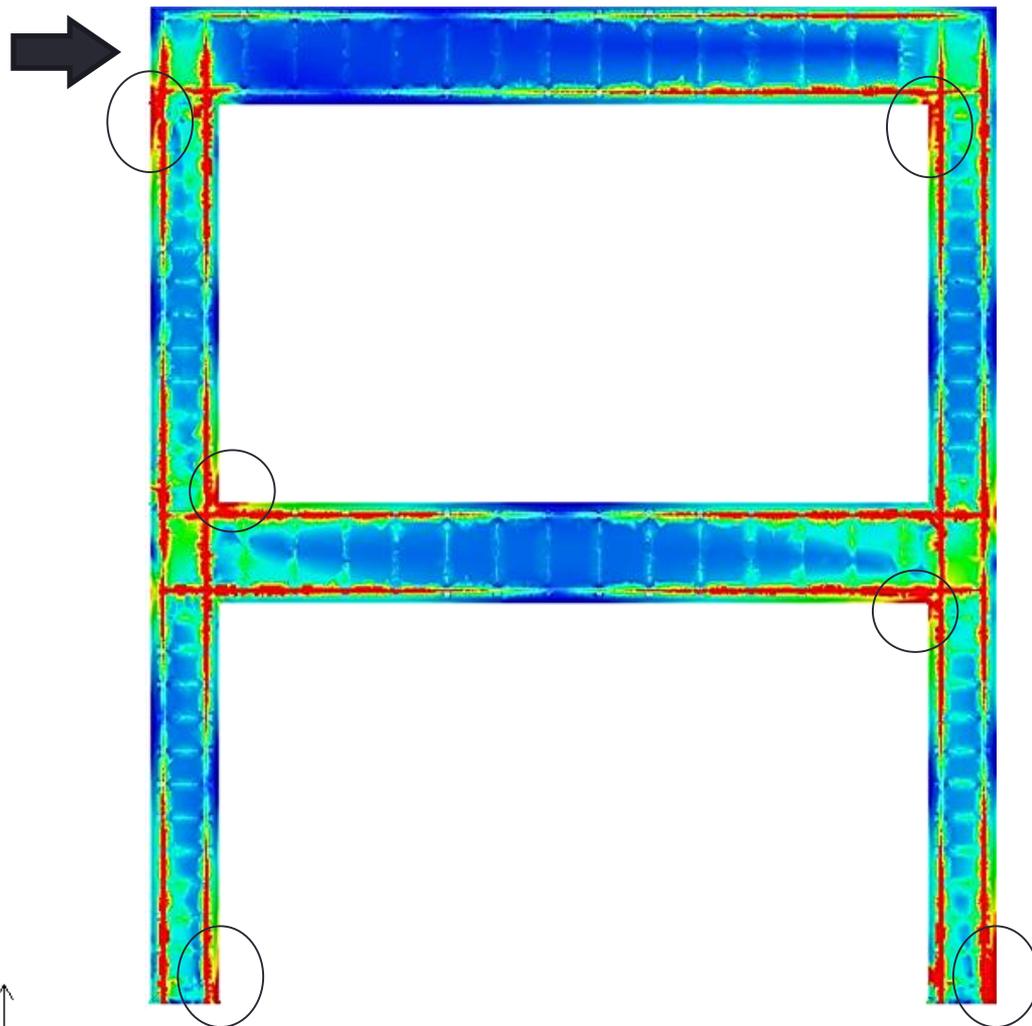
RC構造物の検討 - 変位制御解析結果 (変位5mm)



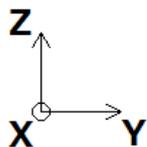
- ① 柱脚部や梁柱接合部付近の主筋
- ② 主筋付近のコンクリート
- ③ せん断補強筋配置位置のコンクリート
- ④ 梁柱接合部パネルゾーン
- ⑤ 引張応力度と圧縮応力度のつり合い



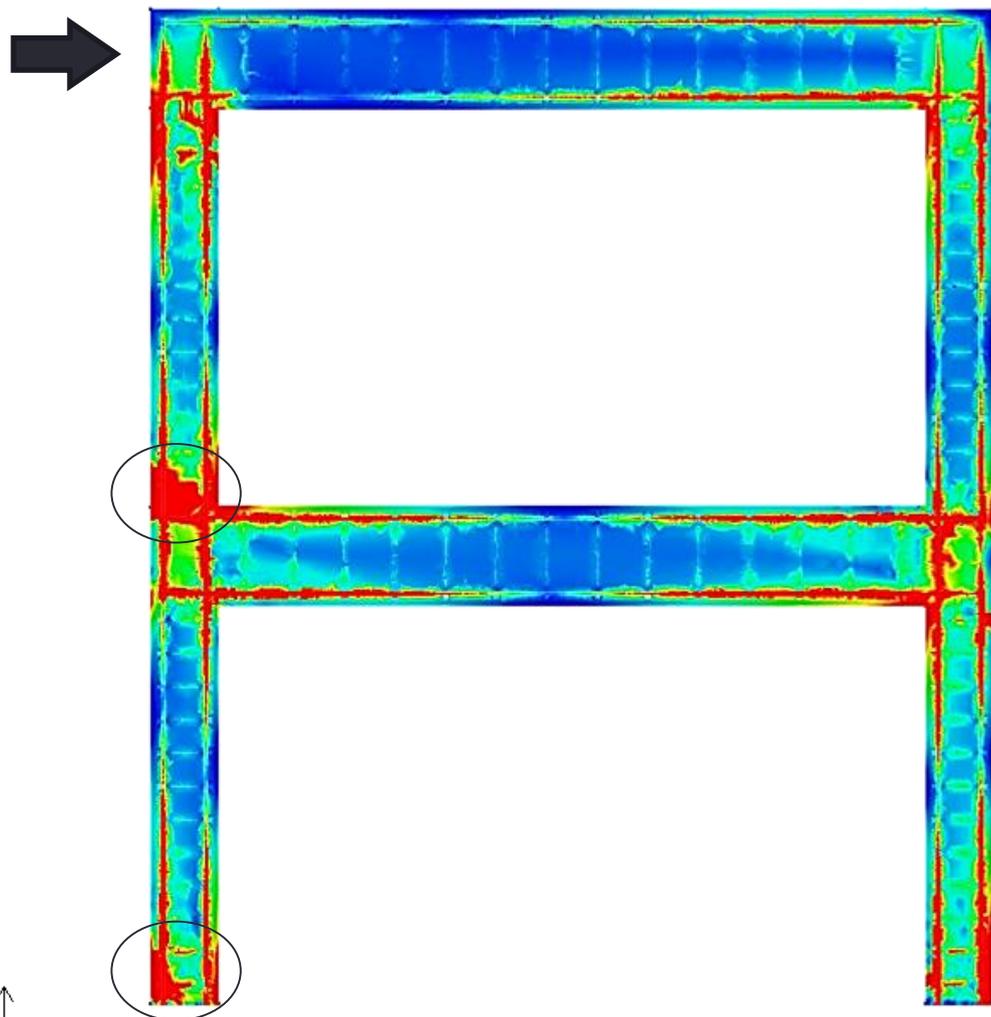
RC構造物の検討 - 変位制御解析結果 (変位12mm)



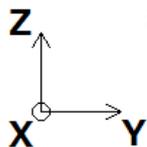
- ① 柱脚部や梁柱接合部付近の主筋
- ② 主筋付近のコンクリート
- ③ せん断補強筋配置位置のコンクリート
- ④ 梁柱接合部パネルゾーン
- ⑤ 引張応力度と圧縮応力度のつり合い
- ⑥ 柱頭柱脚圧縮部, 梁柱接合部のコンクリート



RC構造物の検討 - 変位制御解析結果 (変位17mm)



- ① 柱脚部や梁柱接合部付近の主筋
- ② 主筋付近のコンクリート
- ③ せん断補強筋配置位置のコンクリート
- ④ 梁柱接合部パネルゾーン
- ⑤ 引張応力度と圧縮応力度のつり合い
- ⑥ 柱頭柱脚圧縮部, 梁柱接合部のコンクリート
- ⑦ 強制変位作用側柱の脚部



RC構造物の検討 - まとめ

- ① 解析による耐力と事前に算出した終局耐力の比較
解析で算出した耐力の値は安定しておらず、最大耐力としての値を取ることが難しい
- ② 架構内部の応力度分布の挙動
実際のRC構造物に見られるような挙動を確認した



今回用いたオープンソースCAE

定量的な分析 : 更に検討する必要がある

定性的な分析 : 可能である

そのため、建築物内部の挙動を確認することに関してはオープンソースCAEは有効であるといえる

参考文献

- ・国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成23年東北地方太平洋沖地震被害調査報告
- ・西谷章(1992)：『鉄筋コンクリート構造入門[改正版]』、松井源吾監修、鹿島出版会